

ОТ «ИНИЦИАТИВЫ GIGA URB RAS» К КИБЕРИНФРАСТРУКТУРЕ УРО РАН



А.Г. Масич,
младший научный сотрудник,
Институт механики сплошных
сред УрО РАН



Г.Ф. Масич,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
телекоммуникационных и
информационных систем,
Институт механики сплошных
сред УрО РАН

«Сокровище мира - это люди. Вместе мы можем делать обычные вещи (обыденное) нестандартно, создавая целое большим, чем составляющие его части» [1].

Требования передовой науки к организации сети становятся все более специфичными. Потребности в связи и сотрудничестве на расстоянии, а также в доступе к глобально распределенной вычислительной мощности и ресурсам хранения данных характерно для научно-образовательного (R&E – Research and Education) сообщества, в том числе и Уральского отделения Российской академии наук (УрО РАН). Архитектура коммуникаций R&E сообщества эволюционирует как в направлении увеличения скоростей передачи данных, так и изменения процесса и динамики развертывания сетей для конкретных проектов.

Историческая справка. Отслеживая состояние R&E сетей США, начиная от ARPANET (1969 год – 4 узла объединенных на скорости 56 Кбит/с) до конца 90-х гг. XX в. (NSFNET: 1988 г. – 1,5 Мбит/с, 1991 г. – 45 Мбит/с; vBNS: 1995 г. – 155 Мбит/с, Internet2/Abilene: 1996 г. – 622 Мбит/с), видим рост скорости и продолжительные по времени реализации проекты научных сетей для решения определенных задач. Отметим также, что отработанные технологии построения сетей привели в середине 90-х годов к коммерциализации Интернета и стремительному техническому подъему. В этот пе-

риод по всему миру прокладывалось оптоволокно со скоростью более 8000 км/ч (70 млн км в 1999 г.!) [22]. А чтобы расширить полосу пропускания, внедрялась технология плотного волнового мультиплексирования (DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing), обеспечивающая возможность передавать 10 Гбит/с и даже 100 Гбит/с по каждому лямбда-каналу в волокне согласно частотному плану ITU-T в инфракрасном диапазоне.

Справка. Различные длины волн света в одном оптическом волокне используются для разделения каналов передачи данных (рис. 1). Каждая длина волны называется «лямбда». Международный союз электросвязи (ITU-T) стандартизировал частотный спектр длин волн в С-диапазоне с шагом 200, 100, 50, 25 ГГц, что соответствует числу волн 20, 40, 80, 160 соответственно. Это позволяет эффективно увеличить пропускную способность без прокладки новых дорогостоящих волоконно-оптических линий связи (ВОЛС).



Рис. 1. Лямбда-каналы в одном волокне

Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что для протяженных высокоскоростных линий связи альтернативы оптическому волокну в обозримом будущем отсутствуют.

В этот же период времени (90-е годы) R&E сообщество осознало [17], что потеряло контроль над дефицитным ресурсом (каналами) телекоммуникационной промышленности. Важная общая черта всех R&E сетей, развернутых за последние три десятилетия XX века, – большая часть каналов (основной инфраструктуры сети) не принадлежала R&E сообществу, т.е. сети были построены на каналах, арендованных у традиционных компаний по передаче данных. Однако в 2000 году стремительный технический подъем сменился техническим кризисом. И поскольку ряд компаний по протяженным каналам связи обанкротились, ввиду переизбытка пропускной способности появилась другая возможность – компании-поставщики телекоммуникационных услуг были готовы обсудить вопрос о продаже или долгосрочной аренде неиспользуемого ими оптоволоконна или лямбда-каналов. По неиспользуемым операторами связи волокнам не распространяются «лямбда», и волокно не светится (если смотреть в торец световода). Несветящееся волокно называется «темным» (dark fiber). Возможностью приобретения «темных» волокон воспользовались многие R&E организации в мире. Так, например, в США в 2002–2003 годы CENIC развертывает в масштабе штата Калифорния волоконную опорную сеть (CalREN), а в 2003 году создается NLR – организация для развертывания национальной волоконной опорной сети.

В России история создания R&E сетей в национальном масштабе началась с 1980 года [1], когда в СССР были разработаны программа и проект создания Академсети, структурно представляющей собой совокупность девяти взаимосвязанных региональных вычислительных подсетей (РВПС) СССР: «Центр», «Северо-Запад», «Прибалтика», «Юго-Запад», «Урал» (Свердловск, ИММ УрО АН СССР), «Сибирь», «Средняя Азия», «Казakhstan» и «Дальний Восток». В условиях

социалистической плановой экономики все определялось государственными программами, было обеспечено финансированием и отечественной материально-технической базой, в том числе разрешена аренда каналов связи между городами.

На Урале под руководством заведующего «Отделом вычислительных сетей» ИММ УрО РАН, д-ра техн. наук Юрия Ильича Кузякина, стоявшего у истоков работ по сетевой тематике в регионе и сформировавшим коллектив специалистов, в 1986–1990 гг. была создана рабочая зона РВПС «УРАЛ» Академсети (1,2–2,4 Кбит/с) [9]. В ИМСС (Пермь) установлена терминально-интерфейсная система (ТИСА-5), которая была связана по выделенным арендуемым каналам 1,2 Кбит/с с центром коммутации пакетов Х.25 ИММ (Свердловск). Чудо научно-технического прогресса в Перми приходили смотреть местные операторы связи (1990 г.), поражала возможность удаленного доступа к информационным ресурсам, а удаленный счет задач пользователей одной из организаций (НИИУМС) на ВЦ Сибирского отделения АН СССР был для нас первым значимым практическим результатом.

С 1991 года прекращено финансирование Академсети и остановлена эксплуатация рабочей зоны. Однако работы по этой программе имели для нашей страны огромное значение. Во всех регионах Союза были сформированы коллективы специалистов по вычислительным сетям, приобретены бесценный опыт и знания. А со снятием эмбарго на ввоз высоких технологий быстро возникли коммерческие структуры, которые стали строить свой бизнес на рынке телекоммуникаций – одной из наиболее прибыльных в мире отраслей экономики.

В период 1991–2000 гг. создание и развитие региональной информационно-вычислительной сети (РИВС) УрО РАН происходило на новой технической базе. Эти работы финансировались в рамках проекта 2.12 Межведомственной программы создания национальной сети компьютерных телекоммуникаций для нужд науки и высшей школы, региональных

целевых программ Президиума УрО РАН по развитию телекоммуникаций, грантов РФФИ, собственных средств организаций. В ИМСС (Пермь), начаты работы по созданию Пермского фрагмента РИВС УрО РАН. Установлено маршрутизирующее оборудование и выполнено подключение к сети RNet на скорости 64 Кбит/с.

Современное состояние R&E зарубежных коммуникаций. Как ранее отмечалось, многие R&E организации [21, 25] в мире использовали в своих интересах рынок, чтобы приобрести доступ к «темному» оптоволокну для построения собственных LAN/MAN/WAN инфраструктур. В этом случае судьба пропускной способности оказывается у конечных клиентов, а не у поставщиков сервисов и потоков. Результат – стратегическая обеспеченность R&E сообщества. Примерами таких подходов и реализаций являются следующие сети: *National LambdaRail* (NLR) [23] – объединяет региональ-

ные оптические сети США (Regional Optical Networks – RONs), более 17000 км оптического волокна, скорость 6,4 Тбит/с (рис. 2);

Бразильская [13] национальная исследовательская и образовательная сеть, проект GIGA с 2002 года, 700 км «темного» оптоволокну, WDM-оборудование, IP-услуги через GE конечным пользователям. Стратегия известна как национальная оптическая инициатива (ION – National Optical Initiative), в основе которой лежит «темное» волокно или WDM волны, а не аренда услуг; *CSI* (*Cyber Science Infrastructure*) инициатива для улучшения японских научных исследований [12]. Включает в себя высокоскоростную оптическую сеть следующего поколения, которая объединит SINET (Science Information Network – 1 Гбит/с) и SuperSINET (10 Гбит/с) для того, чтобы добиться предоставления полосы пропускания по требованию; *TWAREN* [24] (Taiwan Advanced Research and Education Network) –

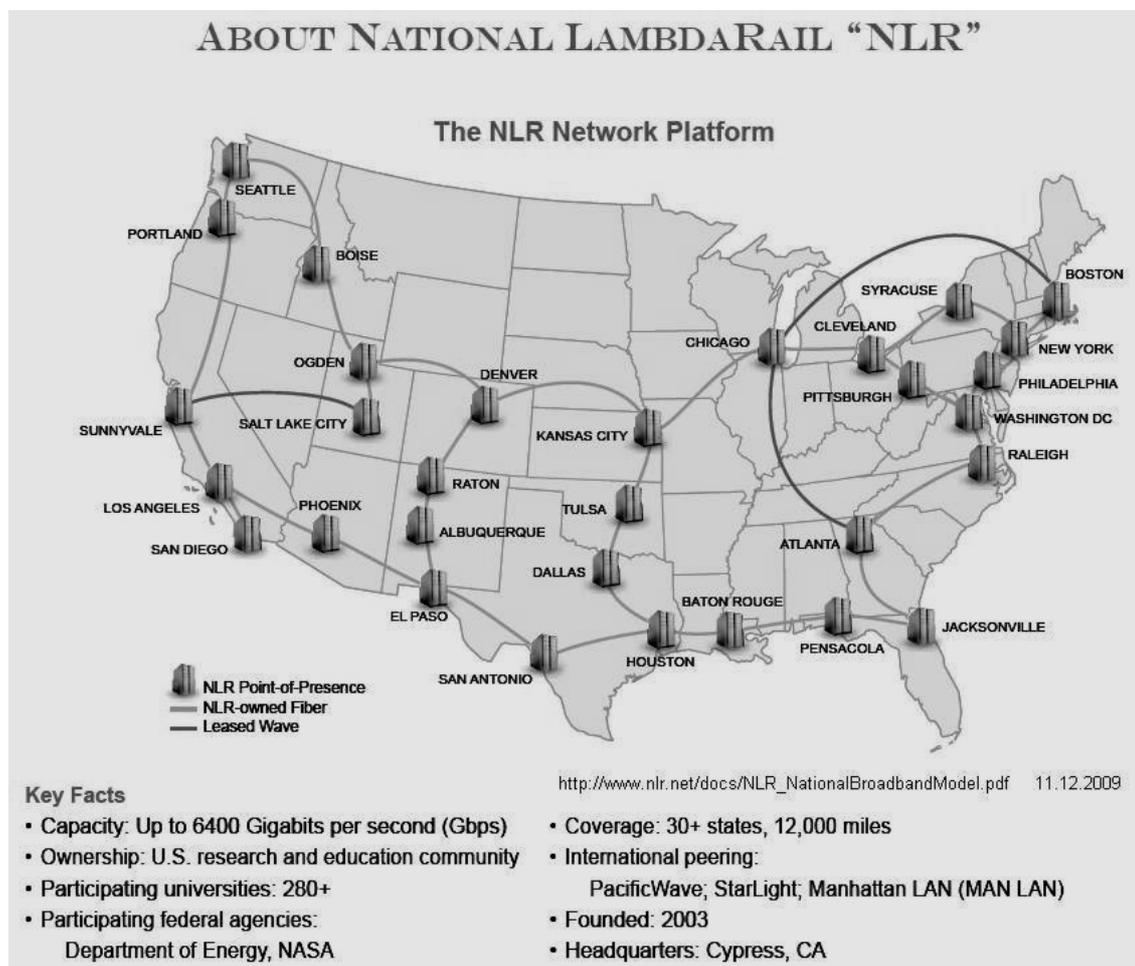


Рис. 2. Научно-образовательная сеть США (NLR)

тайваньская научно-образовательная сеть, объединяет магистралью 10 Гбит/с одиннадцать региональных центров (GigaPoPs); **GEANT2** (Gigabit European Academic Network Technology) [19] – седьмое поколение Европейской научно-образовательной сети (рис. 3), использует магистральную сеть NREN (National Research and Education Network) некоммерческого

оператора DANTE для объединения 28 национальных сетей. Национальные сети Европы имеют свою собственную инфраструктуру [от 10 Гбит/с (Германия) до 100 Мбит/с (Литва)], все чаще арендуется «темное» оптоволокно и устанавливается собственное каналообразующее оборудование. Европейские национальные сети создали ассоциацию TERENA (штаб

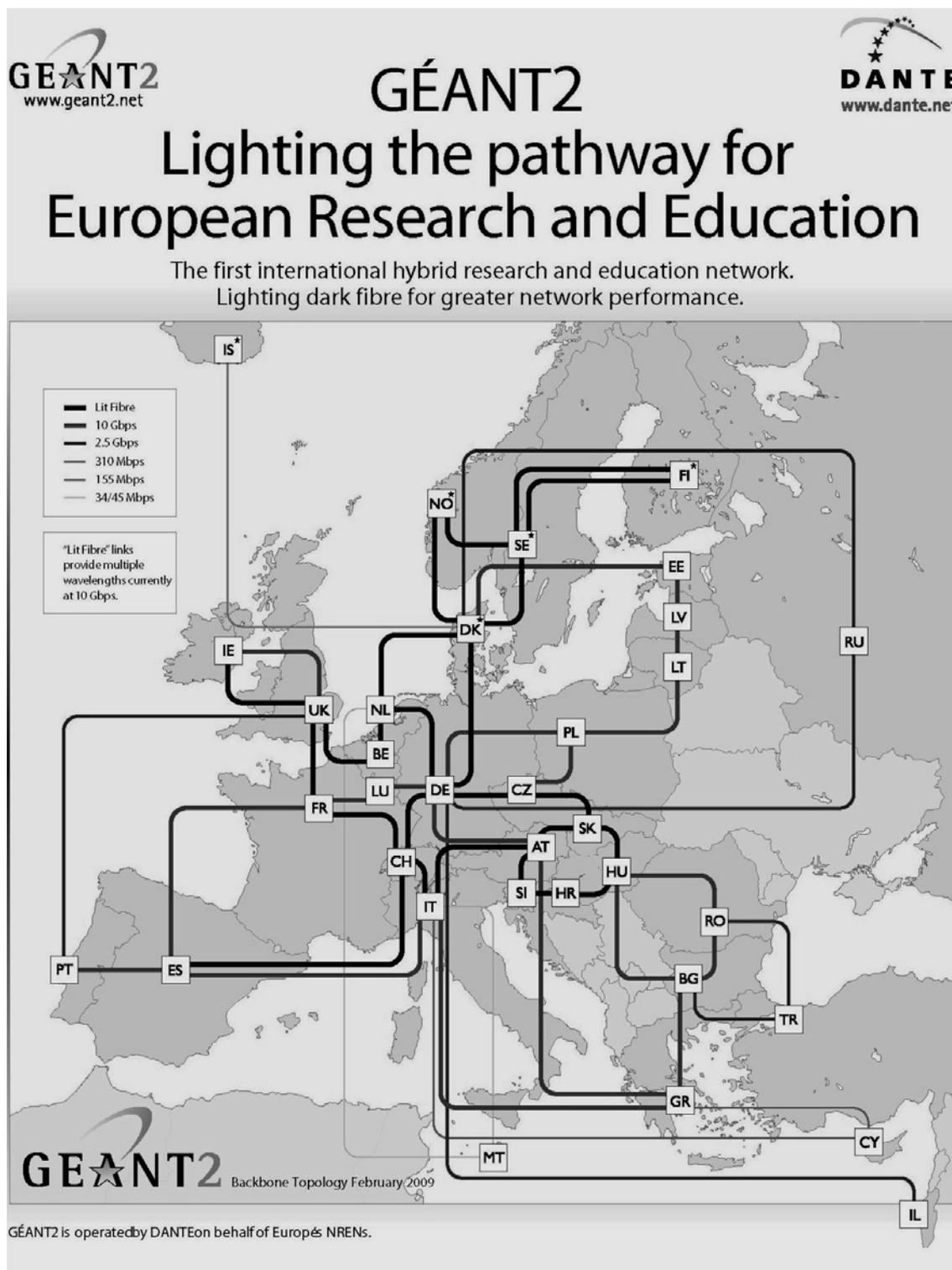


Рис. 3. Европейская научно-образовательная сеть GEANT

квартира в Амстердаме), которая управляется Генеральной Ассамблеей, состоящей из представителей национальных сетей, международных организаций (CERN, ESA, ...), ассоциативных членов (CISCO, DANTE, IBM, NORDUnet), а также ЕЭС. Россия не член ассоциации TERENA.

R&E сети в России, национальные (RBNet – Russian Backbone Network, RUNNet – Russian University Network, RASNet) и региональные (например, сеть УрО РАН), все еще арендуют дорогостоящие потоки 45–155 Мбит/с для подключения к MSK-IX (точка обмена трафиком в Москве) и 2–4 Мбит/с для построения региональных сетей. Следует также подчеркнуть, что, как показывает накопленный опыт, Центр (Москва) не будет решать проблему (финансирование) развития региональных сетей и справедливо озабочен каналом доступа за рубеж, достигнув скорости 10 Гбит/с.

Так, например, на совещании 22–24 апреля 2009 года обсуждались состояние и концепция развития сети RUNNet на среднесрочную перспективу (2009–2012 годы) [4]: «Связность сети RUNNet с мировым информационным телекоммуникационным пространством образования и науки обеспечивается каналами Москва – Санкт – Петербург – Стокгольм – Амстердам (10 Гб/с). Узлы RUNNet в Стокгольме и Амстердаме обеспечивают доступ RUNNet и всех научно-образовательных сетей России в международные межнациональные научно-образовательные компьютерные сети, в том числе общеевропейскую международную научно-образовательную сеть GEANT. Сеть RUNNet имеет в Стокгольме, Амстердаме 10 Гбит/с стыки с научно-образовательной сетью стран Северной Европы NORDUnet (Дания, Швеция, Норвегия, Финляндия, Исландия) обеспечивающей RUNNet транзит в GEANT и сетями крупнейших мировых телекоммуникационных операторов Level3, Cogent Communications, Tata Telecom, Global Crossing, стык с крупнейшей в Европе точкой обмена трафиком AMS-IX». В концепции планируется [4]: «...увеличение пропускных способностей магистральных каналов

связи сети внутри России к 2012 году в 2–3 раза по сравнению с 2008 годом, а также существенное увеличение числа магистральных каналов. Если ранее магистральными каналами сети (оплачиваемыми за счет федерального бюджета) являлись, в основном, каналы, объединяющие такие крупные города, как Москва, Санкт-Петербург, Самара, Новосибирск, Хабаровск, Екатеринбург, Нижний Новгород, Ростов-на-Дону, Владивосток, то к 2012 году магистральные каналы с пропускной способностью не менее 6–10 Мб/с должны быть приведены во все столицы субъектов Российской Федерации, имеющие государственные вузы, а каналы емкостью не менее 100–200 Мбит/с – во все столицы федеральных округов. <...> Необходимо начать построение магистральной инфраструктуры сети RUNNet на базе арендованного «темного волокна» и технологий плотного спектрального мультиплексирования DWDM. При этом предлагается в 2009 году завершить построение DWDM-канала на участке Санкт-Петербург – Хельсинки – Стокгольм с пропускной способностью 40 Гбит/с, с его продлением до Москвы в 2010–2011 годах и выходом на другие магистральные направления в России к 2012 году».

Из этого следует, что в 2012 году, возможно, будет федеральное финансирование магистральных каналов Научных центров УрО РАН на скорости 6–10 Мбит/с, что уступает мировому уровню на 4 порядка и является бесполезной тратой денег на аренду дорогостоящих каналов связи в Российской Федерации.

Сеть УрО РАН состоит из созданных и развиваемых в семи научных центрах оптических инфраструктур: Архангельск – АИЦ, Сыктывкар – КомиИЦ, Ижевск – УдИЦ, Пермь – ПИЦ [5], Челябинск – ЧИЦ, Оренбург – ОИЦ и Екатеринбург. Подключение научных центров к Екатеринбургу выполнено по арендуемым потокам на скорости 2–4 Мбит/с. Централизованный доступ в Интернет осуществляется по арендуемому потоку 65 Мбит/с «Екатеринбург-Москва». Финансовую

поддержку сетевых инфраструктур в научных центрах и каналов доступа в Интернет осуществляет Региональная целевая программа (РЦП) УрО РАН. Координирует работу «Объединенный ученый совет по математике, механике и информатике» УрО РАН. В 2008–2009 гг. некоторые научные центры повысили скорость доступа в Интернет в два раза в рамках существующего финансирования. Схема сети УрО РАН на конец 2009 года приведена на рис. 4.

Сеть Пермского научного центра (ПНЦ) [7, 8] создана и развивается Институтом механики сплошных сред (ИМСС), объединяет оптическим волокном длиной 32,4 км на скорости 1 Гбит/с по IP/GE технологии четыре института и Президиум ПНЦ (рис. 5). Оптическая инфраструктура построена в кооперации с различными ведомствами и организациями для уменьшения затрат на приобретение части волокон и последующего обслуживания линий связи, то есть волокна не выкуплены по причине их обилия в городе, как это происходило в США и других странах, а построены собственные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

Установлены пиринговые отношения с вузами и большинством коммерческих провайдеров Перми. Надежность доступа в Интернет обеспечивается основным каналом на скорости 5 Мбит/с через оператора связи «Импульс» и резервным каналом 1 Мбит/с через Ростелеком посредством провайдера независимого блока IP-адресов. Финансирование арендуемых каналов и содержание оптической инфраструктуры производится РЦП УрО РАН, значение которой для формирования коммуникаций Уральского отделения существенно и позитивно со всех точек зрения. Аналогичные коммуникации созданы и развиваются в других научных центрах УрО РАН. Однако увеличение, например, на два порядка (0,2 Гбит/с) скоростей в магистралях между научными центрами, по нашей оценке, потребует ежегодных затрат на аренду около 400 млн руб., что бесперспективно, дорого, скорости и технологии – не мирового уровня.

Так что же изменилось в характере построения R&E сетей? Две главные причины изменения характера организации R&E сетей для предоставления ученым требуемых сетевых характеристик [17]

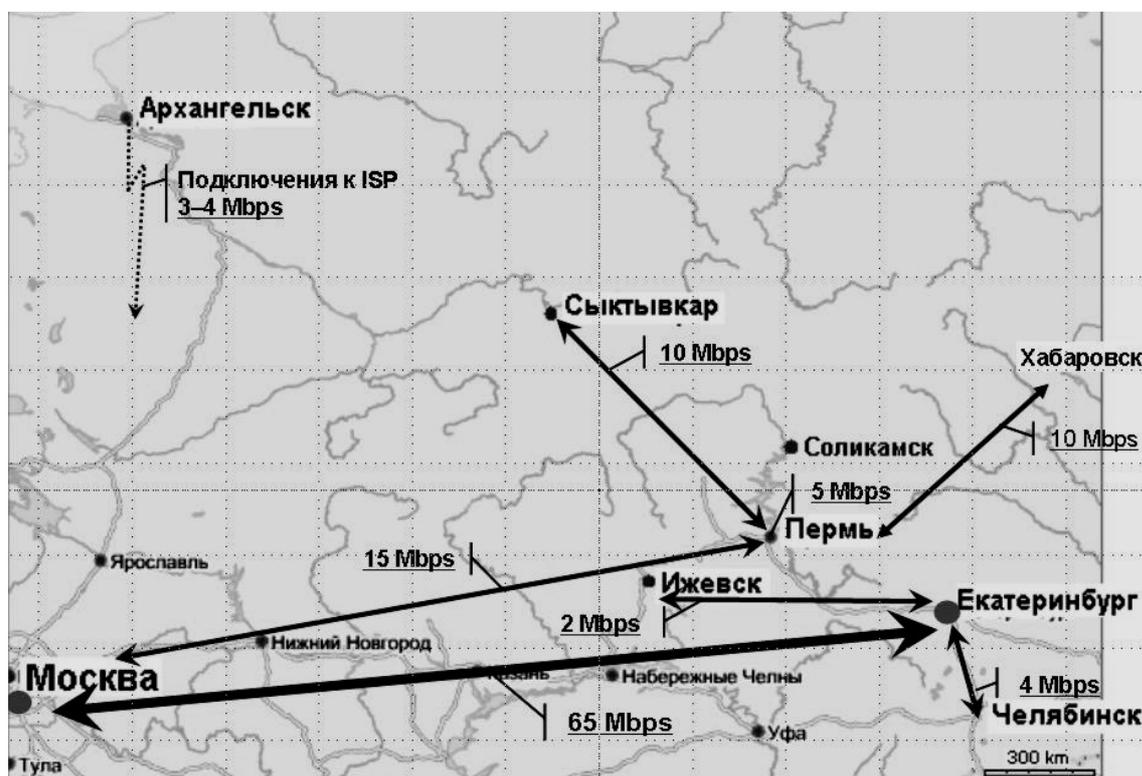


Рис. 4. Сеть УрО РАН



Рис. 5. Оптическая инфраструктура сети ПНЦ УрО РАН

состоят в следующем. Сначала появляется необходимость в разработке новых сетевых технологий, которые масштабируют для растущих потребностей международного R&E сообщества. Позже эти технологии коммерциализируются и используются обычными пользователями. Выполнение этих разработок требует экспериментальной испытательной модели, где сетевые исследователи могут экспериментировать с новыми подходами на всех уровнях сетевой технологии. Результатом этих исследований является возможность поддержки сетями научных проектов, которые требуют сотрудничества ученых в реальном времени и обработки огромных объемов данных. Вторая причина – избыточное количество «темного» оптоволоконна (для России не характерно), которое появилось в результате спада промышленности в коммуникационной отрасли. R&E-сообществу предоставлена (пока!) историческая возможность перехода от аренды каналов у традиционных операторов связи к обладанию своим оптоволоконном. А совместно с технологией DWDM это позволяет многочисленным R&E-сетям

строиться и работать на одной и той же паре волокон. Использование собственного оптоволоконна и DWDM изменяет динамику развертывания и управления специализированными исследовательскими сетями, направленными на поддержку требуемых научных задач и крупномасштабных сетевых исследований.

Инициатива GIGA UrB RAS [6] направлена на достижение стратегической обеспеченности коммуникаций Уральского отделения РАН посредством «темного волокна» и DWDM технологии (рис. 6). Проведенные в ИМСС УрО РАН исследования позволили найти решение для объединения опорных точек доступа оптических сетей научных центров в городах Екатеринбург, Пермь, Ижевск, Сыктывкар и Архангельск по четырем лямбда-потокам по 10 Гбит/с в каждом, обеспечивая сравнимую с мировым уровнем скорость 40 Гбит/с. Экономическая целесообразность Инициативы GIGA UrB RAS заключается в сопоставлении разовых и ежегодных затрат:

- предлагаемое решение 40 Гбит/с



Рис. 6. Инициатива GIGA UrB RAS

- ~ 400 млн руб. разово,
- возможная аренда 0,2 Гбит/с ~ 400 млн руб. ежегодно.

Разовые затраты на приобретение двух академических оптических волокон (срок эксплуатации 25–30 лет) для нужд научно-образовательного сообщества Урала и прилегающих территорий и заложенная возможность поэтапного наращивания производительности DWDM системы с 40 до 160 Гбит/с обеспечивают защиту инвестиций и согласуются с мировой тенденцией развития научно-образовательных сетей.

Идея «Инициативы GIGA UrB RAS» докладывалась в конце 2007 года на ОУС в УрО РАН и вызвала бурные дискуссии на международной конференции в 2008 году в Алматы [6]. Использована при формировании заявки № 11615 от 07.04.2009 г. на формирование тематики ФЦП «Развитие информационно-вычислительной среды УрО РАН на основе суперкомпьютеров с параллельной архитектурой и DWDM технологии передачи данных» (заявка в стадии рассмотрения). Одобренная руководством Уральского отделения РАН, впервые публично озвучена в Архангельске Председателем УрО РАН ака-

демиком РАН В.Н. Чарушиным на Ломоносовских чтениях в ноябре 2009 года и позиционируется как стратегическая линия развития экономики регионов. Следует понимать, что выполнение такого масштабного проекта «под ключ» требует экспериментальной испытательной модели – реального волокна между городами, с которым можно экспериментировать в тесном взаимодействии с промышленностью и новыми подходами на всех уровнях сетевой технологии. Позиционируя Инициативу как фрагмент национальной инфраструктуры РФ, необходимо найти решения и подходы к ее интеграции с передовыми отечественными и зарубежными сетями.

Технологии использования и вектор развития R&E коммуникаций в начале XXI века. Отметим, что для доступа к распределенным в пространстве вычислительным ресурсам R&E сообщество создало грид-технологии, которые позволяют большому количеству ученых по всему миру намного быстрее выполнять трудоемкие расчеты и обрабатывать огромные объемы данных. Эти технологии классифицируют по трем направлениям [2]: грид-вычислительные для доступа к распределенным в пространстве

вычислительным ресурсам, грид-семантические для оперирования данными из различных баз данных и грид для интенсивной обработки огромных объемов данных. Сложность последнего направления – доставка данных для обработки и пересылка результатов счета. Например, созданный в CERN большой андронный коллайдер (Large Hadron Collider, LHC) генерирует поток данных около 10 ПБ в год и требует вычислительной мощности десятки тысяч современных процессоров. Такие вычислительные объемы не под силу одной организации, поэтому была создана структура WLCG (World LHC Computing Grid), которая объединила в себе две грид-инфраструктуры: OSG (Open Science Grid) и EGEE (Enabling Grids for E-sciencE). Проект EGEE [16] – это крупнейшая в мире грид-инфраструктура для выполнения задач в области многих дисциплин. В нее входят свыше 120 организаций; они образуют надежную и способную к расширению систему компьютерных ресурсов, доступных исследовательскому сообществу Европы и всего мира. Сейчас в ней участвуют 250 точек (сайтов) в 48 странах и более 68 тысяч процессоров; с ними могут работать круглосуточно 7 дней в неделю около 8 тысяч пользователей. Первоначально грид-инфраструктура EGEE разрабатывалась для физики высоких энергий и биомедицинских наук. Во второй фазе проект стал поддерживать более широкий диапазон областей исследований: разработку мультимедийных средств, астрофизику, археологию, вычислительную химию. Биомедицинские науки используют EGEE для визуализации медицинских данных, биоинформатики и поиска новых лекарств. Астрофизические приложения обрабатывают данные со спутника Plank и телескопа MAGIC, отличающиеся огромными масштабами поиска, сбора, хранения и моделирования данных.

В EGEE поддерживаются четыре специализированных приложения в области гидрологии, климатологии, наблюдений за поверхностью земли и физики твердой земли. Мультимедийное приложение тестируется на системах отладки в виртуаль-

ной грид-лаборатории GILDA (Grid Infn Laboratory Dissemination Activities). Работа над финансовыми приложениями включает в себя сотрудничество с Международным центром теоретической физики им. Абдуса Салама, развивающего грид-инфраструктуру для финансово-экономических исследований в рамках проекта Egrid. Крупномасштабные грид-разработки R&E сообщества американского континента – такие как распределенные системы обработки данных, входящие в проекты «DataGrid», NASA's Information Power Grid, DOE Science Grid и DISCOM Grid, связывающие системы в лабораториях министерства энергетики (DOE), и система TeraGrid, созданная для связи основных академических организаций США. Каждая из этих систем интегрирует ресурсы многих институтов, *каждая имеет собственную стратегию и механизмы, каждая использует открытые, универсальные (Globus Toolkit) протоколы* для реализации и управления разделением ресурсов и поддерживает высокое качество обслуживания в различных направлениях, включая безопасность, надежность и производительность.

Изначально в грид-вычислениях и других грид-приложениях использовались разделяемые между всеми пользователями Интернет TCP/IP сети. Сейчас о таких сетях говорят «публичный» (public) Интернет. Такие сети играли и играют роль клея, который в грид-технологиях соединял грид-приложения посредством объединенных коммуникационных ресурсов (public internet). И следует отметить, что если передавать терабайтные файлы по public Интернет, то передача будет длиться очень долго и станет крайне неэффективным ее использование.

Следующий этап развития национальных и региональных R&E лямбда-сетей привел к созданию международной виртуальной организации GLIF ([Global Lambda Integrated Facility](#)) [20] – глобальной лямбда-системы, продвигающей парадигму глобальных лямбда-сетей. Действительно, если вся современная связь в мире – это оптика, то очевидна идея: а нельзя ли коммутировать оптику напря-

мую между взаимодействующими приложениями по одному или нескольким лямбда-каналам? Участниками GLIF являются национальные R&E сети, консорциумы и организации, работающие с «лямбда». GLIF была основана на [3-rd Lambda Grid Workshop](#) в Рейкьявике (Исландия) в августе 2003 года. Деятельность участников GLIF направлена на интеграцию своих «лямбд» в глобальную систему для их использования учеными и проектами, требующими передачи большого количества данных, например по схеме «точка-точка» по одной или нескольким лямбда-каналам.

GLIF объединяет ведущих исследователей в области сетей по всему миру для обмена информацией и опытом, поиска наилучших практических решений, для совместной работы ради развития, тестирования и реализации новых технологии лямбда-сетей, для общего сотрудничества во имя продвижения коммуникационных технологии вперед.

Сообщество GLIF разделяет взгляды в построении **новых парадигм грид-вычислений**, в которых **центральный архитектурный элемент – это оптические сети, а не компьютеры**. Эта парадигма называется Lambda Grid, направлена на поддержку наиболее требовательных к скоростям научных приложений этого десятилетия. Парадигма основывается на использовании параллелизма, как и в суперкомпьютеринге десятилетие назад. Однако у GLIF параллелизм заключен в многочисленных длинах волн света (лямбд) в одном оптическом волокне. Главное применение – высокопроизводительные научные проекты, которые изучают очень сложные микро- и макропроблемы, распределенные в пространстве и времени. В будущем Lambda Grid сети будут, по-видимому, также использоваться с другими целями, включая интересы образования, чрезвычайных служб, медицины, коммерции. В ближайшем десятилетии, по оценкам экспертов, наука будет нуждаться в распределенных высокопроизводительных вычислениях, хранении эксобайтов информации и терабитных скоростях в сетях.

Конкретным примером задачи, сформулированной двумя молодыми сотрудниками ИМСС УрО РАН, для решения которой требуются огромные вычислительные мощности (десятки тысяч процессоров) и коммуникационные (Lambda Grid) ресурсы, является проект «Распределенный PIV».

Проект «Распределенный PIV» [3, 10]. Суть проекта – обработка в реальном времени получаемых в ИМСС (Пермь) на PIV-экспериментальной установке изображений на удаленном суперкомпьютере. На первом этапе использован суперкомпьютер СКИФ (НИВЦ МГУ, Москва, 60 Tflops) по временно организованному магистральному каналу связи протяженностью ~1500 км на скорости 1 Гбит/с (прототип Lambda Grid). Инфраструктура эксперимента изображена на рис. 7. Цель первого этапа работ – оценка существующих возможностей научно-образовательных коммуникаций и вычислительных ресурсов России и уточнение модели распределенного в пространстве эксперимента реального времени. Инициаторы проекта: Р.А. Степанов (экспериментальный фрагмент проекта), А.Г. Масич (коммуникационный фрагмент проекта). Пользуясь случаем, считаем необходимым еще раз выразить признательность соисполнителям проекта, безвозмездно откликнувшимся на столь неординарную для РФ задачу и выполнившим организационно-координационные работы в своих ведомствах:

- НИВЦ МГУ (Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ, координатор Вл.В. Воеводин) – канал связи «МГУ – МСЦ РАН», суперкомпьютер СКИФ МГУ;
- МСЦ РАН (Межведомственный суперкомпьютерный центр, координатор М.Р. Биктимиров) – канал связи «МСЦ РАН – узел GigaNAP/Москва»;
- РОСНИИРОС (Российский НИИ развития общественных сетей, координатор А.П. Платонов) – канал связи «узел GigaNAP/Москва – Москва (M9)»;
- Оператор связи «Импульс» (координатор Г.Г. Тирон) – канал связи «Москва (M9) – Пермь».

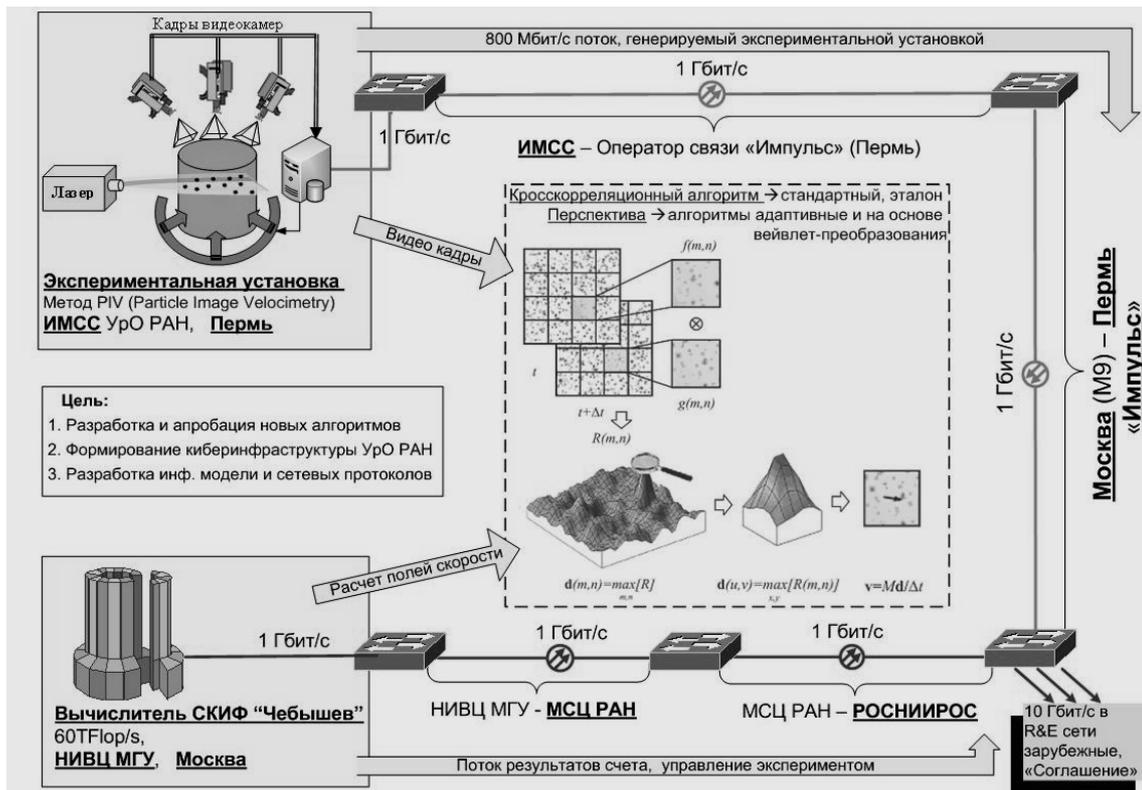


Рис. 7. Инфраструктура проекта «Распределенный PIV»

Оценим скорости потоков и требуемые вычислительные мощности для эксперимента «Распределенный PIV». Широко используемый метод PIV (Particle Image Velocimetry) [11] основан на цифровой трассерной визуализации, позволяет в плоскости и толщине лазерного ножа фиксировать цифровыми камерами перемещения трассеров и рассчитывать, например, поля скорости. Точность измерений зависит от характеристик видеокамер (разрешение и частота кадров) и от возможностей алгоритмов расчета.

Экспериментальная установка PIV, установленная в ИМСС, генерирует поток экспериментальных данных порядка 1 Гбит/с ($4 \text{ Мпикс} \times 8 \text{ бит/пикс} \times 30 \text{ кадров/с} = 960 \text{ Мбит/с}$). При использовании планируемых камер более высокого разрешения ($10 \text{ Мпикс} \times 24 \text{ бит/пикс} \times 30 \text{ кадров/с} = 7200 \text{ Мбит/с}$) поток приближается к скорости 10 Гбит/с. А для режимов работ PIV установки стерео (2 камеры) или томография (3 камеры) и более 30 кадров в секунду скорость потока экспериментальных данных приближается к 100 Гбит/с.

Ограниченность вычислителя экспериментальной установки сдерживает раз-

витие математического аппарата и возможности управления экспериментов в реальном времени. Перенос вычислений на многопроцессорные системы позволит использовать ресурсоемкие, но высокоточные алгоритмы, избегать хранения гигантских объемов избыточной информации, обрабатывать измерения «на лету» и проводить эксперименты с обратной связью. Пакет программ на супервычислителе реализует алгоритм параллельного расчета мгновенных полей скорости по изображениям, поступающим с измерительной установки. Кросс-корреляционный алгоритм является стандартным подходом и будет использоваться в качестве базового (эталонного). В перспективе будут применены адаптивные алгоритмы обработки изображений и алгоритмы на основе вейвлет-преобразования. Скорость обработки одной пары изображений зависит от параметров расчета и производительности процессоров. Типичное время составляет 10 с, тогда для синхронной обработки потребуется порядка 150 расчетных ядер. При усложнении вычислительного алгоритма характерное время будет возрастать и потребуется большее число ядер. На втором этапе эксперимента пла-

нируется использование 10 000 процессоров.

Результаты первого этапа распределенного эксперимента

1. Проложен канал связи 1 Гбит/с «ИМСС (Пермь) – МГУ (Москва)» при уникальном организационно-техническом взаимодействии на безвозмездной основе различных ведомств и коммерческих организаций России. Апробировано межоператорское взаимодействие и уточнена схема доступа «точка-точка» к отечественным и международным ресурсам через GIGA-NAP-Moscow. Сформулированы требования к «GIGA-NAP-Perm» для подключения к «GIGA-NAP-Moscow» на скорости 10 Гбит/с.

2. Выполнены измерения реального потока экспериментальных данных на различных протоколах передачи данных и показана их несостоятельность. Сформулированы предложения диспетчеризации потоков для систем пакетной обработки суперкомпьютера и разработана модель канала прямого доступа к узлам суперкомпьютера.

3. Подписано Соглашение между ИМСС УрО РАН, Российским научно-исследовательским институтом развития общественных сетей (РосНИИРОС) и оператором связи «Импульс» о предоставлении научно-образовательным сообществам на территории Пермского края возможности соединения по схеме «точка-точка» («L2-сервис») на скорости 1 Гбит/с со своими партнерами в рамках национальных и зарубежных некоммерческих проектов.

На 9-м ежегодном Global Lambda Grid семинаре, проводимом 27–28 октября 2009 года в г. Тэджон (Южная Корея), Российский участник от РОСНИИРОС представил инфраструктуру оптической сети Московского региона и прикладные задачи, решаемые с использованием передовых технологий Lambda Grid, в том числе проект «Распределенный PIV» (рис. 8).

Выявленные в рамках эксперимента нерешенные задачи и проблемы прямого

ввода в узлы многопроцессорной системы экспериментальных данных – огромное поле для исследований и разработок, для выполнения которых требуется экспериментальный фрагмент сети.

Экспериментальный фрагмент сетевой инфраструктуры создан и развивается на оборудовании и оптических каналах ИМСС и ПГТУ. Цель – проведение совместных научно-исследовательских работ и обучение студентов по перспективному распределенным информационно-вычислительным системам и протоколам передачи данных на кафедре ИТАС ПГТУ. На построенном прототипе канала 1 Гбит/с выполнены эталонные измерения скорости широко используемых в Интернете протоколов передачи данных (FTP, TFTP, CIFS). Подтверждена их несостоятельность для использования в скоростных каналах для ввода потоков экспериментальных данных в многопроцессорные системы. Сформулированы направления дальнейших исследований, а именно анализ производительности других технологий и архитектур построения систем прямого ввода данных в узлы супервычислителей по уникальным протоколам передачи интенсивных потоков данных, например gridFTP или UDT.

Использование созданной и развиваемой сети ПНЦ УрО РАН инновационной промышленностью видится в обсуждаемой в настоящее время СМСгрид-инициативе.

СМСгрид-инициатива, преконцепция которой сформулирована зам. директора НИИЯФ МГУ В.А. Ильиным под патронажем Министерства связи и массовых коммуникаций РФ, направлена на создание грид-инфраструктуры для приложений в промышленности и инноваций, требующих высокопроизводительных вычислений с использованием методов распараллеливания процесса вычислений, в том числе MPI, и интенсивных операций с данными. Известно, что основная масса задач, возникающих в промышленности, не требует уникальных супервычислительных комплексов. Это обусловлено либо фундаментальными проблемами распараллеливания конкрет-

Applied Physics

Institute of Continuous Media Mechnics, RAS, Ural Branch

Project: Distributed Particle Image Velocimetry

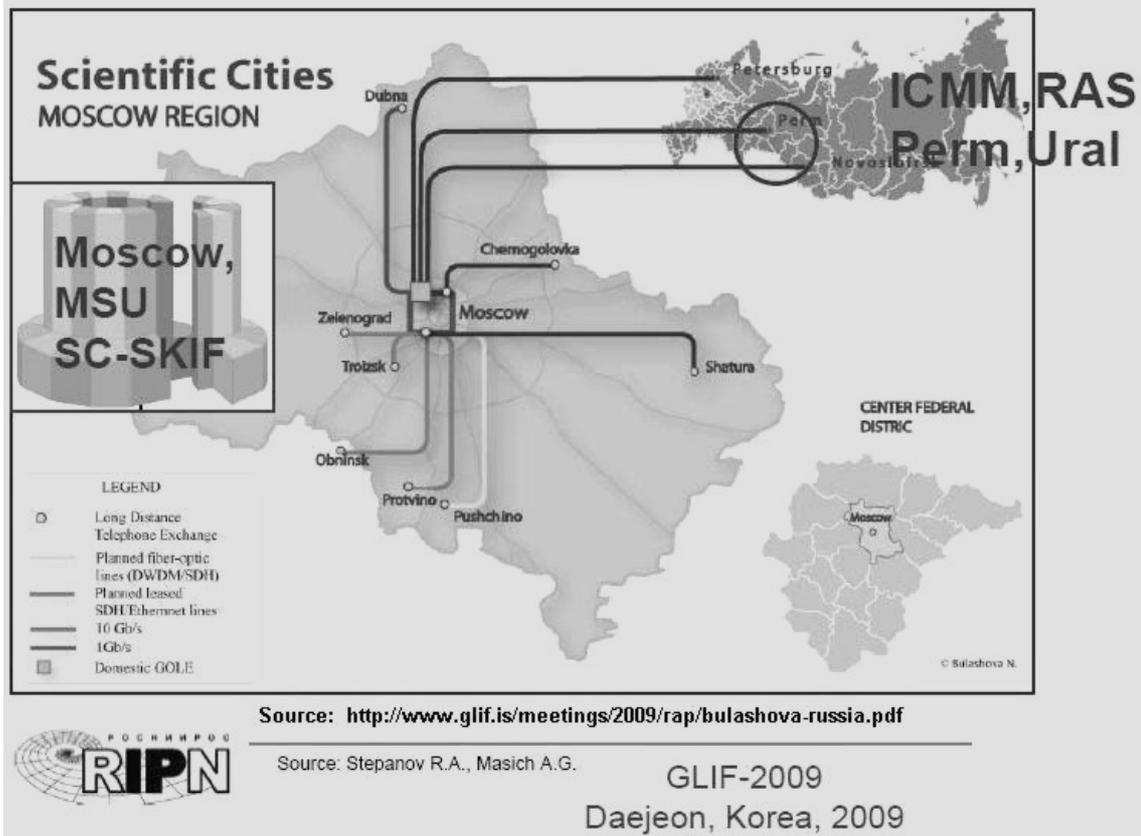


Рис. 8. ИМСС в инфраструктуре GLIF

ных классов задач, либо просто невозможностью траты большого объема рабочего времени на обучение прикладников и высокопрофессиональную подготовку распараллеленных программ в связи с жестким производственным или бизнес-планом заказчиков. Поэтому, наряду с развитием (очень небольшого числа) уникальных по масштабу суперкомпьютерных центров, соответствующая программа недавно была объявлена Президентом РФ; представляется крайне актуальным для России развитие сети средних и малых суперкомпьютерных центров (далее используется аббревиатура СМС), которые должны обеспечить решение массовых задач в инновационных отраслях промышленности на уровне применения методов НРС/НТС/МРІ. Предлагаемая инициатива направлена на резкое увеличение

вычислительных ресурсов, доступных в данный момент для решения задания данного СМС-пользователя. Грид-технологии являются в настоящее время наиболее оптимальным инструментом для реализации СМС-инициативы. Одной из технологических задач СМСгрид является взаимодействие с большими суперкомпьютерными центрами (в РНЦ КИ, МГУ, МСЦ, возможно, в Сарове и др.), с тем чтобы в определенных случаях СМС-задания направлялись в такие центры на выполнение при понимании, что для их решения требуется распараллеливание на большое число вычислительных ядер (сотни и больше) и что такое распараллеливание возможно. Интересно и обратное взаимодействие – перенаправление в СМСгрид с больших суперкомпьютерных центров тех задач, которые не требуют

уникальных параметров таких центров.

В СМСгид-инициативе принимает участие ИМСС, работающий в рамках СМС-парадигмы. На шлюзе в Перми (ИМСС) установлено промежуточное программное обеспечение GRID MiddleWare (GT4) и получены сертификаты безопасности на домен ИМСС при огромной поддержке НИИЯФ МГУ. Тестовая отладка планируется в RDIG (Russian Data Intensive Grid) – Российский грид для интенсивных операций с данными.

В заключение приведем видение киберинфраструктуры в начале XXI столетия национальным научным фондом США (NSF), которое в полной мере соотносится с конечной целью УрО РАН, фундаментом которой является «Инициатива GIGA UrB RAS».

«Киберинфраструктура – это движущая сила науки и техники, а коммуникации – фундамент киберинфраструктуры», – Национальный научный фонд США (NSF) так сформулировал видение киберинфраструктуры в начале XXI столетия [14]. Всестороннюю инфраструктуру, которая должна объединять все усовершенствования в сфере информационных технологий, назвали киберинфраструктурой (*Cyberinfrastructure* – CI). CI **объединяет в себе** аппаратные средства для вычислений, **данные и сети**, цифровые датчики, обсерватории и экспериментальные средства, взаимодействующий набор программного обеспечения и услуг микропрограммных средств и инструментов. Миссия NSF касательно киберинфраструктуры (CI) [14]:

- разработка антропоцентрической CI, которая управляется возможностями образования и исследований в науке и технике;

- обеспечение научных и технических сообществ доступом к инструментальным средствам и услугам CI мирового класса;

- продвижение CI для расширения участия национальной рабочей силы во всех областях науки и техники;

- обеспечение жизнеспособной CI, которая является безопасной, эффектив-

ной, надежной, доступной, вполне используемой и способной к взаимодействию и развивается как основная национальная инфраструктура для обеспечения образования и исследований в науке и технике;

- интеграция и совместное использование активов киберинфраструктуры, развернутых и поддерживаемых на национальном, региональном, местном уровнях и на уровне университетских городков.

Риски, связанные с текущими уязвимостями и уязвимостями, появление которых ожидается в ближайшем будущем, угрозы и атаки на IT-инфраструктуру явились основной причиной появления отчета NITRD (Networking and Information Technology Research and Development) [18], в котором отмечают: *увеличивающаяся сложность IT-систем и сетей, которая приведет к вызовам безопасности как у разработчиков, так и у пользователей; изменение природы телекоммуникационной инфраструктуры, подобно тому как телефонные системы и компьютерные сети объединяются в более унифицированную структуру.*

В современной среде беспроводных коммуникаций традиционный подход «защитить периметр» не работает из-за сложности определения «границ периметра». Особенности стратегии плана NITRD: *строить безопасность с начала* – разработка принципиально более безопасных технологий нового поколения, внедрение которых заменит сегодняшнюю практику латания дыр в существующей инфраструктуре; *оценивать появляющиеся технологии с точки зрения безопасности* – оптические компьютеры, квантовые компьютеры, встроенные миниатюрные компьютеры.

Выводы

- Общеизвестно сегодня, что исследователи из университетов играют ключевую роль и в разработке фундаментальных интернет-технологий, и в их апробации в крупномасштабных испытательных моделях. Яркий тому пример

настоящего времени – национальная «лямбда» в США. NLR, возможно, является самым масштабным исследовательским и образовательным проектом со времен ARPANET и NSFnet [25]. Оба привели к коммерциализации Интернета. В духе этих выдающихся историй успеха NLR стремится стимулировать и поддерживать передовую исследовательскую сеть для того, чтобы *быть на шаг впереди текущих тенденций развития Интернета*. В результате ожидается упрощение коммерческого развития и создания новых технологий и рынков. Таким образом, происходит стимулирование экономического развития и вклад в американскую конкурентоспособность. Возникает *вопрос*, почему научно-образовательные сети России не на шаг впереди Интернета?

Ответ. Удручающее состояние R&E сетей РФ обусловлено двумя факторами: отсутствием возможности приобретения или долгосрочной аренды в России оптического волокна или «лямбды» и разборками в центре, который никак не может осознать способность регионов самостоятельно построить свои сети при достаточном их финансировании. К сведению, децентрализация – главный принцип функционирования Интернета.

▪ Островки региональных оптических сетей R&E организаций России (отделений РАН и вузов) позволят инициировать процесс построения национальной «лямбды» в рамках тех или иных инициатив и консорциумов для обеспечения полноценного их участия в зарубежных проектах прикладной направленности (например связь по

«лямбде» сотрудничающих лабораторий).

▪ «Академическое волокно» на Урале может привлечь в последующем инвесторов (организаций-соучастников научно-образовательного сообщества) в части наращивания его пропускной способности посредством DWDM-технологий до терабитных скоростей, в том числе для транзитного трафика на южном (Казахстан) и восточном (СО и ДВО РАН) направлениях.

▪ В случае самостоятельной финансовой реализации УрО РАН «Инициативы GIGA UrB RAS» приобретаются значимый «коммуникационный» политический вес и самостоятельность в проведении коммуникационных политик УрО РАН. С таким ресурсом можно интегрироваться в мировое GLIF сообщество, развивающее перспективную парадигму Lambda Grid, независимо от намерений и не всегда благоприятной для регионов воли центра (Москва). Пример: удручающая концепция развития сети RUNNet на территории РФ [4].

▪ Амбициозная «Инициатива GIGA UrB RAS» не уступает аналогичным проектам науки и образования США, Европы и Японии и хорошо согласуется с организационно-территориальной структурой УрО РАН, поскольку чем больше протяженность и чем выше скорость передачи, тем более заметны преимущества оптических сетей. Рост скорости передачи в протяженных оптических линиях связи показывает, что нет никакой альтернативы волокну.

Библиографический список

1. Академическая компьютерная сеть С.-Петербурга / Г.М. Лосев [и др.] // Электросвязь. – 2003. – № 5.
2. Демичев А.П., Ильин В.А., Крюков А.П. Введение в грид-технологии. Препринт НИИЯФ МГУ. – 2007. – 11/832.
3. Инфраструктура распределенного эксперимента / А.Г. Масич [и др.] // Сб. тез. докл. XVI конференции представителей региональных научно-образовательных сетей «RELARN-2009». – М.–СПб., 2009. – С. 58–60.
4. Концепция развития Федеральной компьютерной университетской сети RUNNet на среднесрочную перспективу (2009–2012 годы). http://www.runnet.ru/news/docs/tambov2009/RUNNet_concept.doc – 20.12.2009.

5. Масич Г.Ф., Масич А.Г. Аспекты развития коммуникаций // Материалы XIV конференции представителей региональных научно-образовательных сетей «RELARN-2007». – Н. Новгород, 2007. – С. 21–26.
6. Масич А.Г., Масич Г.Ф. Инициатива GIGA UrB RAS // Совместный вып. журн. «Вычислительные технологии» и журн. «Вестник КазНУ им. Аль-Фараби». Сер. «Математика, механика, информатика», № 3 (58). По материалам Междунар. конф. «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании». – Казахстан, Алматы. – 2008. – Т. 13. – Ч. II. – С. 413–418 (ISSN 1560-7534).
7. Масич А.Г., Масич Г.Ф. Оптическая магистраль ПИЦ УрО РАН // Сб. тез. докл. XIII конференции представителей региональных научно-образовательных сетей «RELARN-2006». – Алтай, 2006. – С. 40–44.
8. Матвеев В.П., Масич А.Г., Масич Г.Ф. Парадигмы развития научно-образовательных коммуникаций // Материалы XV конференции представителей региональных научно-образовательных сетей «RELARN-2008». – Н. Новгород, 2008. – С. 40–42.
9. Региональная информационно-вычислительная сеть Уральского отделения Академии наук СССР: сб. науч. докл. / Отв. ред. Ю.И. Кузюкин. – Препринт. Свердловск: УрО АН СССР, 1990.
10. Степанов Р.А., Масич А.Г., Масич Г.Ф. Инициативный проект «Распределенный PIV» // Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность: труды Всероссийской суперкомпьютерной конференции. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – С. 360–363 (ISBN 978-5-211-05697-8).
11. Adrian R.J. Scattering particle characteristics and their effect on pulsed laser measurements of fluid flow: speckle velocimetry vs. particle image velocimetry // Appl. Opt. – 1984. – Vol. 23. – P. 1690–1691.
12. Cyber Science Infrastructure Initiative for Boosting Japan's Scientific Research / Sakauchi M. [et al.] // CTWatch Quarterly. – 2006. – Vol. 2. – № 1. – P. 20–26 (ISSN 1555-9874).
13. Cyberinfrastructure for Multidisciplinary Science in Brazil / Raupp M.A. [et al.] // CTWatch Quarterly. – 2006. – Vol. 2. – № 1. – P. 32–36 (ISSN 1555-9874).
14. Cyberinfrastructure Vision for 21st Century Discovery, National Science Foundation Cyberinfrastructure Council, March 2007.
15. Dunning T., Nandukumar R. International Cyberinfrastructure: Activities Around the Globe // CTWatch Quarterly. – 2006. – Vol. 2. – № 1. – P. 2–4 (ISSN 1555-9874).
16. Enabling Grids for E-science / <http://rus.egee-rdig.ru/> 14.12.2009.
17. Farber D., West T. The National LambdaRail. Cyberinfrastructure for Tomorrow's Research and Education // CTWatch Quarterly. – 2005. – Vol. 1. – № 2. – P. 14–19 (ISSN 1555-9874)
18. Federal Plan for Cyber Security and Information Assurance Research and Development / A Report by the Interagency Working Group on Cyber Security and Information Assurance, Subcommittee on Infrastructure and Subcommittee on Networking and Information Technology Research and Development, April 2006.
19. GEANT2 pan-European research and education network / <http://www.geant2.net> – 20.12.2009.
20. Global Lambda Integrated Facility / <http://www.glif.is/> 20.12.2009.
21. International Cyberinfrastructure: Activities Around the Globe // CTWatch Quarterly. – 2006. – Vol. 2. – № 1. – P. 2–4 (ISSN 1555-9874).
22. Papadopoulos P., Smarr L. Introduction // CTWatch Quarterly. – 2005. – Vol. 1. – № 2. – P. 2–4 (ISSN 1555-9874).
23. Silvestre J. National LambdaRail (NLR) – Packet, Wave and Frame Services // GLIF 2006, Akihabara, Japan, September 11, 2006.
24. Taiwan's Cyberinfrastructure for Knowledge Innovation / Tsai W.-F. [et al.] // CTWatch Quarterly. – 2006. – Vol. 2. – № 1. – P. 37–42 (ISSN 1555-9874).
25. Winkler L. (Argonne National Lab.) Does 10 G Ethernet Measure Up? // CTWatch Quarterly. – 2005. – Vol. 1. – № 2. – P. 5–9 (ISSN 1555-9874).